


**Method and circuit for automatic start-up of a wavelength-stabilized semiconductor laser**


Patent Number: DE3542090  
Publication date: 1987-07-23  
Inventor(s): STROBEL OTTO AUGUST DIPL PHYS (DE)  
Applicant(s): STANDARD ELEKTRIK LORENZ AG (DE)  
Requested Patent:  DE3542090  
Application Number: DE19853542090 19851128  
Priority Number(s): DE19853542090 19851128  
IPC Classification: H01S3/133 ; H01S3/096  
EC Classification: H01S5/068S  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A method is described having a circuit for achieving and stabilizing the operating wavelength of a semiconductor laser (1), in the case of which method the control criteria are derived from the return light (5). A Fabry-Perot interferometer (6) is located in the return light path. The laser is temperature-controlled and current-controlled (11, 13). On switching on, the temperature is first increased until the noise caused by mode jumps is less than a threshold value. In order thereafter to find an operating point, the laser current is varied until another threshold value is reached. In this case, mode jumps can occur again, so that the two steps must be repeated several times until an operating point is reached which is free of mode jumps. A control circuit (15) for stabilizing the wavelength is not

activated until after this has been done. 

Data supplied from the esp@cenet database - 12



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 35 42 090.1  
22 Anmeldetag: 28. 11. 85  
43 Offenlegungstag: 23. 7. 87

Behörden Eigentum

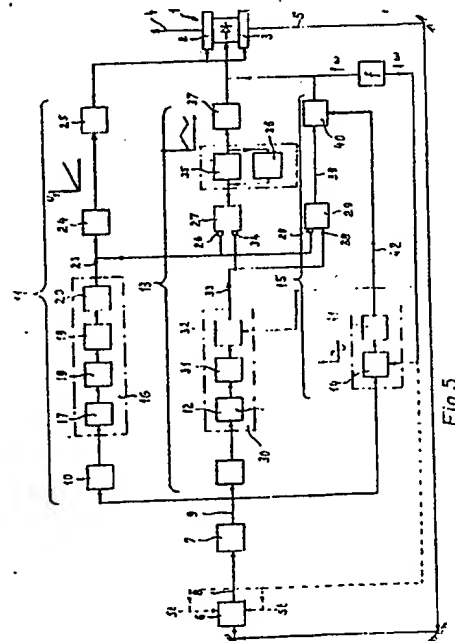
DE 3542090 A1

71 Anmelder:  
Standard Elektrik Lorenz AG, 7000 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Strobel, Otto August, Dipl.-Phys., 7302 Ostfildern, DE

54 Verfahren und Schaltung zur automatischen Inbetriebnahme eines wellenlängenstabilisierten Halbleiterlasers

Es wird ein Verfahren mit einer Schaltung zum Erreichen und Konstanthalten der Betriebswellenlänge eines Halbleiterlasers (1) beschrieben, bei dem die Regelkriterien aus dem Rücklicht (5) abgeleitet werden. Im Rücklichtweg befindet sich ein Fabry-Perot-Interferometer (6). Der Laser ist temperatur- und stromgeregelt (11, 13). Beim Einschalten wird erst die Temperatur so lange erhöht bis das durch Modensprünge hervorgerufene Rauschen einen Schwellwert unterschreitet. Um danach einen Arbeitspunkt zu finden, wird der Laserstrom verändert bis ein anderer Schwellwert erreicht ist. Hierbei können wieder Modensprünge auftreten, so daß die beiden Schritte mehrmals wiederholt werden müssen, bis ein modensprungfreier Arbeitspunkt erreicht ist. Erst danach wird eine Regelschaltung (15) zur Stabilisierung der Wellenlänge aktiviert.



DE 3542090 A1

1. Verfahren zur Inbetriebnahme eines wellenlängenstabilisierten Halbleiterlasers, insbesondere eines Monomodelasers, wobei der Betriebsstrom und damit die Wellenlängen des Lasers mittels einer Modulationsspannung moduliert und der Laserstrahl oder ein Teilstrahl der Laserstrahls über ein Wellenlängen-Referenzfilter geleitet wird oder alternativ das Referenzfilter moduliert wird und aus dem aus diesem austretenden Laserstrahl oder Laserteilstrahl wenigstens eine Regelkomponente erhalten wird, mittels der der Laserstrom zur Regelung der Laserwellenlänge nachgeregelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß an den Laser (1) über eine erste Regeleinrichtung (37) eine den Betriebsstrom ( $I_0$ ) erzeugende Spannung ( $U_0$ ) und eine dieser überlagerte sinusförmige Modulationsspannung ( $U_m$ ) angelegt wird oder die Modulationsspannung an das Wellenlängen-Referenzfilter angeschlossen und dieses moduliert wird und zugleich die regelbare Temperatur des Lasers (1) insbesondere über wenigstens ein Peltierelement (2, 3) beeinflusst wird, daß die im Laserteilstrahl (8) im Bereich (21) einen Modensprungs gegenüber der modensprungfreien Zone (22) auftretende unterschiedliche Höhe des Rauschpegel durch eine erste Auswerteschaltung (16) festgestellt und bei Vorhandensein des einer modensprungfreien Zone (22) entsprechenden Rauschpegels ein erstes Steuersignal (23) ausgegeben wird, über das zum einen die Temperaturänderung gestoppt und auf den vorhandenen Temperaturwert geregelt wird und zum anderen die erste Regeleinrichtung (37) angesteuert wird und diese daraufhin den Betriebsstrom ( $I_0$ ) kontinuierlich erhöht, bis durch eine zweite Auswerteeinrichtung (30) im Laserteilstrahl (8) das Auftreten wenigstens einer höheren geradzahligten Harmonischen der Modulationsfrequenz, insbesondere der zweiten Harmonischen ( $2\omega$ ), festgestellt und daraus ein zweites Steuersignal (33) aufbereitet wird, und daß bei gleichzeitigem Auftreten des ersten und des zweiten Steuersignals (23 und 33) der Betriebsstrom ( $I_0$ ) durch entsprechende Regelung konstant gehalten wird und gleichzeitig eine dritte Auswerteeinrichtung (14, 41) wirksam wird, die im Laserteilstrahl (8) die Grundwelle der Modulationsfrequenz ( $\omega$ ) und/oder eine ungeradzahlige Harmonische derselben feststellt und je nach Abweichung der Laserwellenlänge ( $\lambda$ ) von der Filtermittenwellenlänge ( $\lambda_0$ ) eine positive bzw. negative Regelgröße (42) ausgibt, über die der Betriebsstrom ( $I_0$ ) so nachgeregelt wird, daß die Abweichung zu Null geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserteilstrahl (8) von einem optoelektrischen Sensor (7) detektiert und das erhaltene detektierte elektrische Signal (9) über einen Hochpaß (10) der ersten Auswerteeinrichtung (16) zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der ersten und zweiten Auswerteeinrichtung (16; 30) je ein Schwellwertdetektor (19; 12) vorgeschaltet wird und die erste Auswerteeinrichtung (16) bei Unterschreiten und die zweite Auswerteeinrichtung (30) nach Überschreiten des Schwellwertes das erste bzw. zweite Steuersignal (23 bzw. 33) ausgibt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Auswerteeinrichtung (16) im Modensprungbereich (21) das erste Steuersignal (23) an einen Integrator (24) ausgibt, der daraus eine ansteigende Spannung erzeugt, über die die Ansteuerung der Lasertemperatur erfolgt, bis die modensprungfreie Zone (22) erreicht wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Regeleinrichtung (37) bei Inbetriebnahme den Betriebsstrom ( $I_0$ ) zunächst auf einen Mindestbetriebsstrom konstant hält, daß der ersten Regeleinrichtung (37) ein Verknüpfungsglied (27) vorgeschaltet ist, dem das erste und zweite Steuersignal (23 und 33) zugeführt wird und vom Verknüpfungsglied (27) ein diesem nachgeschalteter Spannungsgenerator (35, 36) angesteuert wird, der an die erste Regeleinrichtung (37) so lange eine den Betriebsstrom ( $I_0$ ) ändernde Dreiecksspannung ausgibt, als dem einen Eingang (26) des ersten Verknüpfungsgliedes (27) das der modensprungfreien Zone (22) entsprechende erste Steuersignal (23) und dem zweiten Eingang (34) dem ersten Verknüpfungsglied (27) das dem Nichtvorhandensein der zweiten oder  $2n$ -ten Harmonischen entsprechende zweite Steuersignal (33) zugeführt wird und daß bei nicht vorhandener bzw. sich nicht mehr ändernder Dreiecksspannung der Betriebsstrom ( $I_0$ ) auf dem zuletzt vorhandenen Wert konstant gehalten wird.
6. Schaltung zur Inbetriebnahme und Regelung der Wellenlänge eines Lasers nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Frequenzgenerator ( $f$ ) vorgesehen ist, der eine sinusförmige Spannung ( $U_m$ ) erzeugt und an den Eingang des Lasers (1) für den Betriebsstrom ( $I_0$ ) angeschlossen ist und diesen moduliert und ein Laserteilstrahl (5) durch ein als Fabry-Perot-Interferometer (6) ausgebildetes Referenzelement geleitet wird oder der Frequenzgenerator ( $f$ ) an die Steuerelektroden ( $S_i$ ) eines elektrisch ansteuerbaren integriert-optischen Fabry-Perot-Interferometers (6) angeschlossen ist und dieses damit moduliert, daß nach dem Fabry-Perot-Interferometer (6) ein optoelektrischer Detektor (7) vorgesehen ist, der aus dem modulierten Laserteilstrahl (8) die Modulationsfrequenz ( $\omega$ ) wenigstens deren zweite Harmonische ( $2\omega$ ) detektieren und als elektrische Größe (9) ausgeben kann, daß ein erster Regelkreis (11) hintereinander ein Hochpaßfilter (10), einen breitbandigen Rauschverstärker (17), einen Schwellwertdetektor (19), gegebenenfalls einen Tiefpaß (18), einen ersten Komparator (20), ein Integrationsglied (24) und ein Temperaturregelglied (25) enthält und letzteres an den Eingang der Temperaturregelglieder (2, 3) des Lasers (1) angeschlossen ist und an diesen das dem unterschiedlichen Rauschpegel entsprechende Regelsignal (23') ausgibt, daß ein zweiter Regelkreis (13) hintereinander einer Schwellwertdetektor (12), vor dem gegebenenfalls ein Verstärker (V), der insbesondere die zweite Harmonische verstärkt, angeschlossen ist, einen auf die zweite Harmonische abgestimmten Lock-in-Verstärker (31), einen zweiten Komparator (32), ein erstes Verknüpfungsglied (27), an das auch der Ausgang (23) des ersten Komparators (20) angeschlossen ist, ein Dreiecksspannungsgenerator (35, 36) und eine erste Regeleinrichtung (37) enthält, die an dem Laserstromeingang angeschlossen ist und an diesen ein Steuersignal (33') eingeben kann und daß ein

dritter Regelkreis (15) hintereinander einen auf die Grundwelle der Modulationsfrequenz ( $\omega$ ) abgestimmten Lock-in-Verstärker (14), und eine zweite Regeleinrichtung 841) enthält, die über ein Schaltglied (40) an den Laserstromeingang angeschlossen ist und an diesen ein Steuersignal abgeben kann, daß ferner ein zweites Verknüpfungsglied (29) vorgesehen ist, an dessen Eingänge (28 und 38) die Ausgänge (23 und 33) des ersten und zweiten Komparators (20 und 32) angeschlossen sind und der Ausgang (39) des zweiten Verknüpfungsgliedes (29) an das Schaltglied (40) angeschlossen ist und daß an die Eingänge der drei Regelkreise (11; 13; 15) der Ausgang des optoelektrischen Detektors (7) angeschlossen ist.

### Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Inbetriebnahme eines Lasers gemäß des Oberbegriffs des Anspruchs 1 sowie auf eine Schaltung zur Ausübung dieses Verfahrens.

Es ist bekannt, die Wellenlänge eines Lasers durch geeignete Maßnahmen wie Regelung der Betriebstemperatur und/oder des Laserstromes konstant zu halten. Hierbei wird manuell eine gewünschte Laserwellenlänge eingestellt und bei Erreichen derselben auf eine automatische Regelung umgeschaltet. Dies bedeutet einen nicht unbeachtlichen Aufwand insbesondere eine genaue Beobachtung der Betriebszustände.

Die Erfindung befaßt sich daher mit der Aufgabe, bei einem Laser die Lasersollwellenlänge automatisch einstellen zu können und diese innerhalb geringster Toleranzen konstant zu halten. Die relative Wellenlängestabilität sollte dabei besser als  $10^{-9}$  sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 6 angegebenen Verfahrens- bzw. Schaltungsmerkmale erreicht. Hierdurch kann der Laser nach Anschalten desselben automatisch auf die Betriebswellenlänge eingestellt und anschließend mit hoher Genauigkeit konstant gehalten werden. Von besonderem Vorteil ist hierbei, daß bei Auftreten eines Modensprunges, der durch unvorhersehbare Einflüsse immer wieder einmal auftreten kann, automatisch wieder der stabile Bereich gefunden wird und dann die Wellenlänge wieder stabilisiert wird.

Grundlage der Erfindung ist die Erkenntnis, daß bei Auftreten von Modensprüngen gegenüber dem Laserbereich, in dem keine Modensprünge auftreten, im Zusammenwirken mit einem Fabry-Perot-Interferometer ein höherer Rauschpegel auftritt. Ferner wird die Tatsache herangezogen, daß bei Modulation der Laserwellenlänge bzw. der Wellenlängenreferenz in einem relativ kleinen Bereich, in dem die Laserwellenlänge annähernd (oder genau) mit der Filtermittenwellenlänge eines Fabry-Perot-Interferometers (Referenzelement) übereinstimmt, die zweite Harmonische der Modulationsfrequenz deutlich erkennbar und detektierbar ist. Weiterhin ist davon Gebrauch gemacht, daß bei Übereinstimmung der Laserwellenlänge mit der Filtermittenwellenlänge die Grundwelle der Modulationsfrequenz verschwindet, bei geringen Abweichungen jedoch die positive oder negative Abweichung detektierbar ist.

Vorteilhafte Einzelheiten der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und nachfolgend anhand der in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsbeispiele beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 das Spektrum eines Monomodelasers

Fig. 2 die Abhängigkeit der zentralen Wellenlänge des Monomodelasers von der Temperatur mit dem Laser-Betriebsstrom als Parameter

Fig. 3 die Fabry-Perot-Transmission des Filters als Funktion der Wellenlänge,

Fig. 4 eine Fabry-Perot-Mode wie in Fig. 3, jedoch mit 20-facher Auflösung

Fig. 5 ein Prinzipschaltbild zur Ausübung des Verfahrens.

Fig. 1 zeigt das typische Spektrum eines Monomodelasers, wobei der relative Leistungsanteil der Zentralmode dominiert. Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der zentralen Laserwellenlänge  $\bar{\lambda}$  von den Lasereingangsparametern, dem Strom  $I_0$  und der Temperatur  $T$ . Betrachtet man das Verhalten der zentralen Wellenlänge zunächst bei einem konstanten Strom, so erkennt man den anfangs stetigen Verlauf der Wellenlänge als Funktion der Temperatur. Bei Erreichen eines bestimmten Temperaturwerts erfolgt ein Modensprung, so daß der bisherige Hauptmodus bei  $\bar{\lambda}$  verschwindet, und der nächst höhere Modus bei  $\lambda_{+1}$  wird dominant (siehe Fig. 1). Verändert man zusätzlich den Strom, so finden die Modensprünge bei anderen Temperaturen statt. Bei höheren Strömen wird die Kurve zu niedrigeren Temperaturen verschoben.

Kommt die Wellenlänge in die Nähe eines benachbarten Modus, so ergibt sich eine Bereich (nicht nur ein Punkt), in dem ein Modensprung in den benachbarten Modus stattfindet. Sie bleibt jedoch nicht dort, sondern springt wieder zurück. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis innerhalb des nächsten Modus der Sprungbereich wieder verlassen wird (siehe Fig. 2).

Fig. 3 zeigt die Transmissionsfunktion (Filterfunktion) eines als Referenzelement verwendeten Fabry-Perot-Interferometers, im folgenden mit FPI bezeichnet, das als Wellenlängenreferenz verwendet wird. Im Bereich maximaler Transmission läßt sich die Transmissionsfunktion durch eine trigonometrische Funktion approximieren (siehe Fig. 4):

$$I(\bar{\lambda}) = \frac{1}{2} I_{\max} \left[ 1 + \cos \left( \frac{\bar{\lambda} - \lambda_c^F}{\Delta \lambda^F} \pi \right) \right] \quad (1)$$

wobei

$I_{\max}$ : maximale Transmission des FPI  
 $\bar{\lambda}$ : zentrale Laserwellenlänge  
 $\lambda_c^F$ : Wellenlänge bei maximaler Transmission des FPI

$\Delta\lambda^F$  Halbwertbreite der Filterfunktion

Zur Realisierung eines Modulationsverfahrens wird die Laserwellenlänge relativ zum Referenzelement (FPI) sinusförmig moduliert. Nach Durchlaufen des Laserlichts erhält man im Modensprungfreien Fall an einem betragquadrierenden Detektor folgendes Signal  $U(\bar{\lambda})$ :

$$\begin{aligned}
 & \overbrace{U_{\omega}(\bar{\lambda})} \\
 10 \quad U(\bar{\lambda}) \sim & 2 I_1 \cdot \sin \left( \frac{\bar{\lambda} - \lambda_r^F}{\Delta \lambda^F} \pi \right) \cdot \sin \omega t + 2 I_3 \cdot \sin \left( \frac{\bar{\lambda} - \lambda_r^F}{\Delta \lambda^F} \pi \right) \cdot \sin 3 \omega t \\
 & + 1 + I_0 \cdot \cos \left( \frac{\bar{\lambda} - \lambda_r^F}{\Delta \lambda^F} \pi \right) + 2 I_2 \cdot \cos \left( \frac{\bar{\lambda} - \lambda_r^F}{\Delta \lambda^F} \pi \right) \cdot \cos 2 \omega t \quad (2) \\
 & \underbrace{\hspace{15em}}_{U_{2\omega}(\bar{\lambda})}
 \end{aligned}$$

wobei

$I_\gamma$ : Besselfunktionen erster Art der Ordnung  $\gamma$ .

Aus (2) folgt, daß  $U_{\omega}(\bar{\lambda})$  für  $|\bar{\lambda} - \lambda_r^F| = 0$  einen Nulldurchgang besitzt. Mit Hilfe dieser Meßgröße läßt sich somit ein Regelkreis aufbauen, der beim Auftreten von Differenzen zwischen der Laser- und Filterwellenlänge dafür sorgt, daß diese zu Null geregelt werden. Treten jedoch Modensprünge auf, so werden den modulationsbedingten Frequenzkomponenten weitere überlagert, die durch das nichtlineare Verhalten der Laserwellenlänge bedingt sind:

$$30 \quad H(\omega_s) \sim \Delta \tau \left( 1 + \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{k+1} \cdot \sin [(2k+1) / \omega_s t] \right) \quad (3)$$

$\omega_s$ : Sprungfrequenz

$l, k$ : ganze natürliche Zahl

$\Delta \tau$ : Differenz der Transmission vor bzw. nach einem Modensprung

Die Zeitdifferenz  $\Delta t$  zwischen zwei aufeinanderfolgenden Modensprüngen unterliegt statistischen Prozessen des Halbleiterlasers.

Dies führt zu Frequenzkomponenten ( $l\omega_s$ ), die sowohl niedrige als auch hohe Frequenzanteile aufweisen. Die modulationsbedingten Frequenzkomponenten werden bei höheren Frequenzen, bedingt durch die abnehmenden Werte der Besselfunktionen höherer Ordnung (vergl. (2)), stark unterdrückt. In diesem Frequenzbereich dominieren daher die modensprungbedingten Anteile. Durch Verwendung eines Hochpasses ist es somit möglich, einen Schwellendetektor zu realisieren, der als Modensprungdiskriminator arbeitet. Bei Auftreten von Modensprüngen wird die Temperatur des Lasers so lange variiert bis diese wieder verschwinden.

Es kann jedoch sein, daß damit gerade eine Laserwellenlänge eingestellt wird, die außerhalb des Fangbereichs der Wellenlängenstabilisierung liegt, z. B.  $\tau(\lambda) = \tau_{\min}$  (siehe Fig. 3). Um dies zu verhindern, wird nun der Laserstrom so lange variiert, bis ein weiterer Detektor ein Signal bei der doppelten Modulationsfrequenz erkennt (vergl. (2):  $U_{2\omega}(\bar{\lambda})$ ), das einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

Ist dies bei gleichzeitiger Modensprungfreiheit der Fall, so kann die Wellenlängenstabilisierung in Betrieb genommen werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand des Schaltungsprinzips der Fig. 5 näher beschrieben.

Mit 1 ist ein Laser bezeichnet, dessen Temperatur durch zwei Peltierelemente 2, 3 einstellbar ist und mit einer Genauigkeit von beispielsweise  $10^{-3}$  Kelvin konstant gehalten wird. Jedes Peltierelement 2, 3 ist mit einer Bohrung versehen. Durch die eine derselben tritt der Arbeitslaserstrahl 4 aus und kann in eine Monomodefaser eingekoppelt werden. Durch die andere Bohrung tritt nach rückwärts ein Laserstrahl 5 aus. Über den Betriebsstrom  $I_0$  bzw. über die Temperatur des Lasers ist dieser auf eine gewünschte Leistung und Wellenlänge einstellbar und regelbar.

Der rückwärtige Laserstrahl 5 wird durch ein als Referenzelement dienendes Fabry-Perot-Interferometer 6 geleitet, dem ein optoelektrischer Detektor 7 nachgeschaltet ist. Das FPI 6 kann vorzugsweise als integriert optischer Resonator ausgebildet sein und er kann so ausgebildet sein, daß seine Durchlaßfilterkurve über zwei Steuerelektroden  $St$  (in der Zeichnung gestrichelt dargestellt) zu höheren oder niedrigeren Wellenlängen hin verschoben werden kann.

Über einen Frequenzgenerator  $f$ , der eine sinusförmige Modulationsspannung  $U_{\omega}$  mit der Modulationsfrequenz  $\omega$  erzeugt, kann der Betriebsstrom  $I_0$  des Lasers 1 und damit auch die Wellenlänge der Laserstrahlen 4 und 5 moduliert werden. Im Falle der Verwendung eines integriert optischen Resonators wird nur durch Ansteuerung der Steuerelektroden  $St$  desselben moduliert. Der Laserteilstrahl 4 bleibt dabei unverändert.

Das aus dem optoelektrischen Detektor 7 ausgegebene elektrische Steuersignal 9 enthält außer dem durch den Laserteilstrahl 5 erzeugten Gleichanteil auch noch die Grundwelle der Modulationsfrequenz  $\omega$  und die noch

gut ausgeprägte Harmonische  $2\omega$ , sowie weitere Harmonische der Modulationsfrequenz  $\omega$ , deren Amplitude mit zunehmender Frequenz kleiner wird.

Das Steuersignal 9 wird einem Hochpaß 10, der Teil eines ersten Regelkreises 11 ist, einem Schwellwertdetektor 12, der Teil eines zweiten Regelkreises 13 ist, und einem Lock-in-Verstärker 14, der Teil eines dritten Regelkreises 15 ist, zugeführt.

Dem Hochpaß 10 des ersten Regelkreises 11 ist eine erste Auswerteschaltung 16 nachgeschaltet, die einen insbesondere breitbandigen, den Rauschpegel verstärkenden Verstärker 17, evtl. einen Tiefpaß 18, einen Schwellwertdetektor 19 und einen ersten Komparator 20 enthalten kann. Dieser Regelkreisabschnitt des Regelkreises 11 detektiert aus dem Steuersignal 9 den Rauschpegel, der stets vorhanden ist und der im Laserwellenbereich 21, in dem ein Modensprung auftritt, wesentlich höher ist als im modensprungfreien Bereich 22 (vgl. Fig. 2). Durch die erste Auswerteeinrichtung 16 wird ein erstes Steuersignal 23, z. B. ein high-Pegel, dann ausgegeben, wenn ein Modensprung auftritt, der Laser also in einem Modensprungbereich 21 arbeitet. In einem nachgeschalteten Integrator 24 wird daraus eine ansteigende Spannung  $U_1$  erzeugt, die über einen Temperaturregler 25 die Lasertemperatur kontinuierlich erhöht, bis der Laser 1 in einen modensprungfreien Bereich 22 (vgl. Fig. 2) kommt. Da hierbei der Rauschpegel im Steuersignal 9 stark abnimmt, wird am Ausgang der ersten Auswerteeinrichtung 16 ein entsprechendes verändertes Steuersignal, z. B. ein low-Pegel ausgegeben. Dadurch kann der Integrator 24 eine ansteigende Spannung  $U_1$  mehr liefern und der Temperaturregler 25 regelt die zuletzt vorhandene Temperatur konstant auf beispielsweise  $10^{-3}$  Kelvin genau.

Zugleich wird der Pegel des ersten Steuersignals 23 an den einen Eingang 26 eines ersten Verknüpfungsgliedes 27, hier ein NOR-Gatters, und den einen Eingang 28 eines zweiten Verknüpfungsgliedes 29 angelegt.

Über den Schwellwertdetektor 12 des zweiten Regelkreises 13 gelangt das Steuersignal 9 an eine zweite Auswerteeinrichtung 30, die einen auf die zweite Harmonische mit der Frequenz  $2\omega$  ansprechenden Lock-in-Verstärker 31 und einen zweiten Komparator 32 enthält. Die zweite Auswerteeinrichtung 30 gibt ein zweites Steuersignal 31, z. B. einen low-Pegel aus, wenn keine zweite Harmonische vorhanden ist und einen high-Pegel wenn diese detektiert wird. Das daraus gewonnene zweite Steuersignal 33 wird dem zweiten Eingang 34 des ersten Verknüpfungsgliedes 27 zugeleitet. Solange an beiden Eingängen 26 und 34 des ersten Verknüpfungsgliedes 27 ein low-Pegel anliegt, gibt dieses einen high-Pegel aus. Daraus erzeugt ein angeschlossener Integrator 35 mit einem parallel geschalteten Schmitt-Trigger 36 einen dreieckigen Spannungsverlauf, der einer ersten Regeleinrichtung 37 zugeführt wird. Über letztere wird der Betriebsstrom  $I_0$  abwechselnd kontinuierlich erhöht und gesenkt. Hierdurch wird ein kleiner Bereich innerhalb des modensprungfreien Bereiches 22 durchfahren. Tritt nun in diesem Bereich die zweite Harmonische auf, dann springt das zweite Steuersignal 33 von low auf high. Dadurch geht auch der Ausgang des ersten Verknüpfungsgliedes 27 auf "low" und die Änderung des Betriebsstromes  $I_0$  durch ein Steuersignal wird gestoppt und diese erste Regeleinrichtung 37 gibt kein Änderungssignal mehr ab.

Zugleich wird der Pegel des zweiten Steuersignals 23 an den anderen Eingang 38 des zweiten Verknüpfungsgliedes 29 geleitet. Dies schaltet auf "high", wenn am ersten Eingang 28 das erste Steuersignal 23 auf "low" liegt, d. h. einen modensprungfreien Bereich 22 signalisiert und zugleich das zweite Steuersignal 23 auf "high" liegt, d. h. den Empfang der zweiten Harmonischen signalisiert. Hierdurch wird also ein Schaltsignal 39 erzeugt, das das Schaltglied 40 in Betriebszustand versetzt, d. h. über den Lock-in-Verstärker 14 und eine als PI-Regler 41 ausgebildete zweite Regeleinrichtung wird mittels des durch diesen erzeugten positiven oder negativen dritten Steuersignals 42 auf die genaue Laserwellenlänge geregelt, indem die Abweichung der Grundwelle der Laserwellenlänge von der Filtermittenwellenlänge durch eine zweite Regeleinrichtung 42 über die Einstellung des Laser-Betriebsstromes  $I_0$  zu Null geregelt wird.

3542090

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

E 14 007  
Blatt 1/3

35 42 090  
H 01 S 3/133  
28. November 1985  
23. Juli 1987

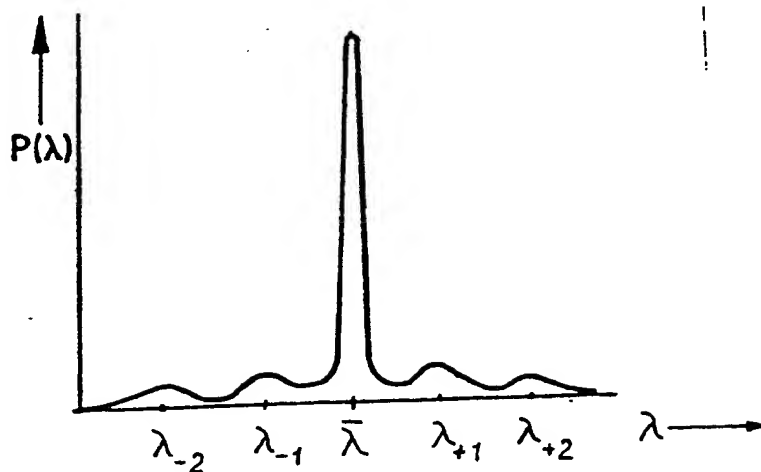


Fig. 1

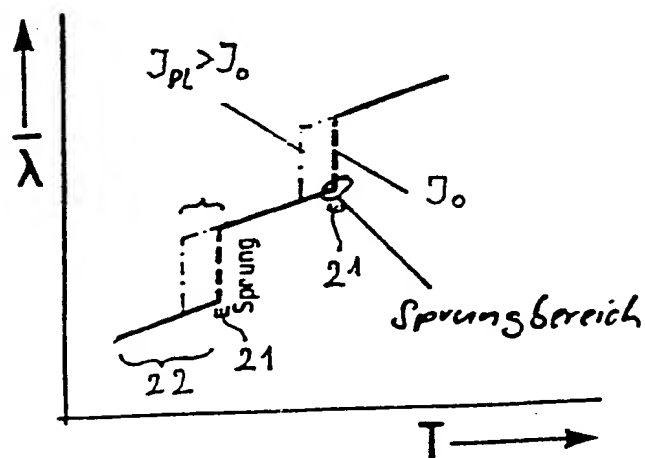


Fig. 2

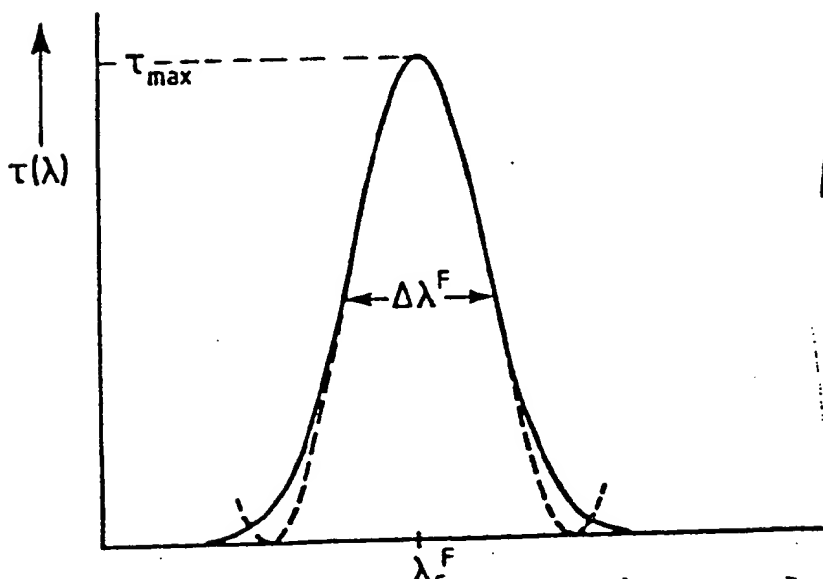


Fig. 4

3542090

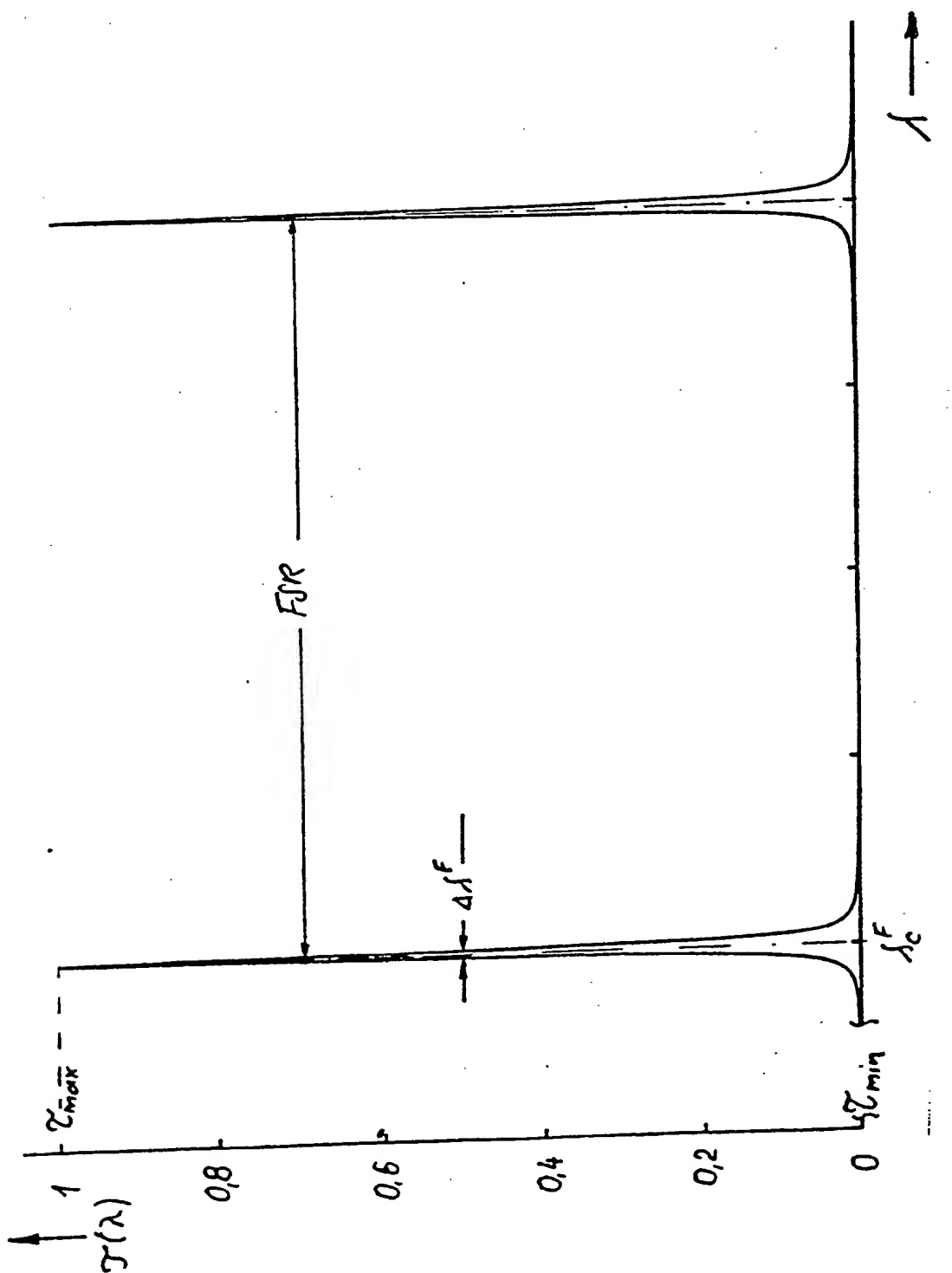


Fig. 3



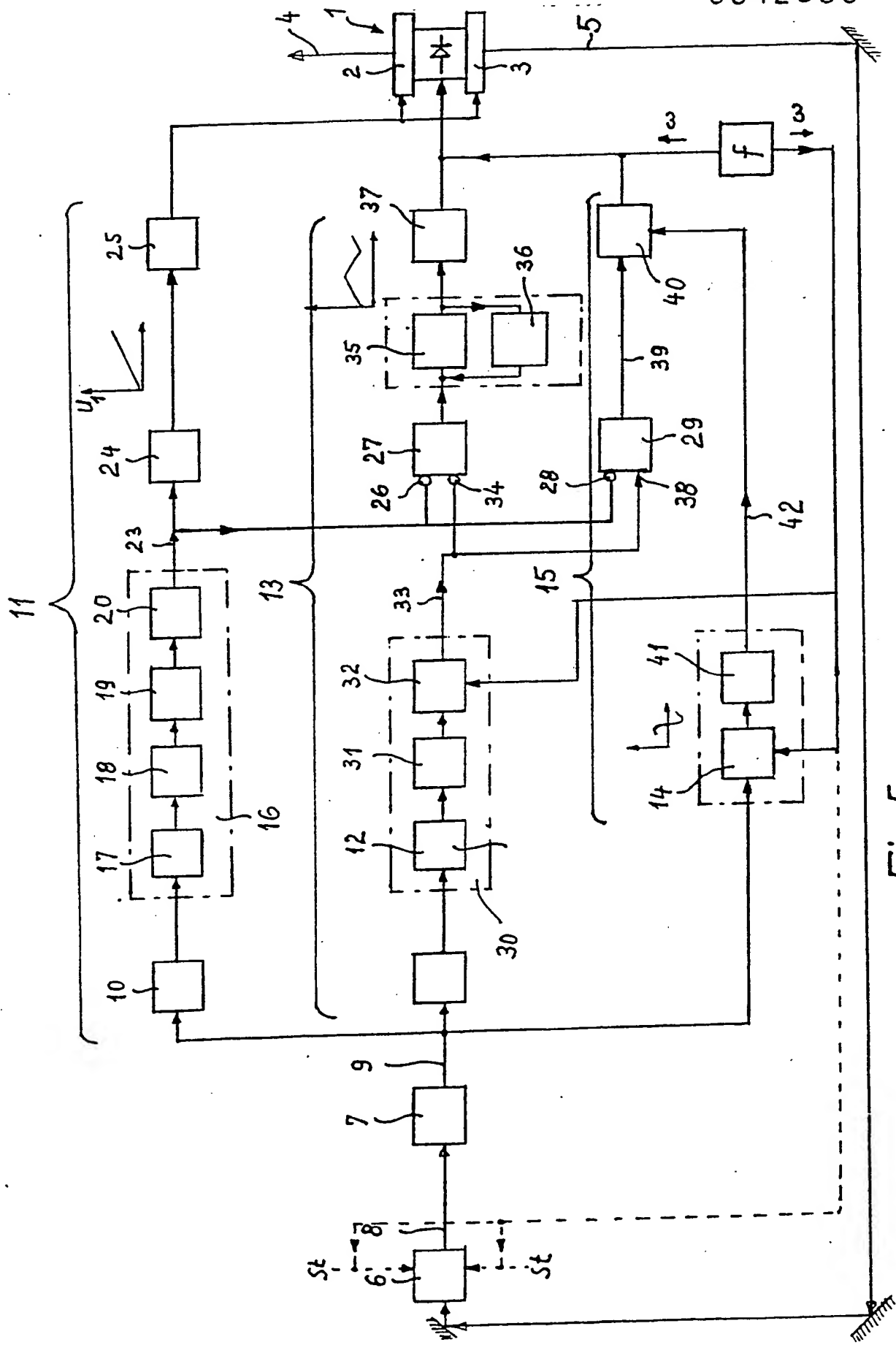


Fig. 5